

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Научная статья

Original article

УДК 69.05

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ С  
ДВОЙНОЙ ОБШИВКОЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛУЧШИХ  
ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВИЗУАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ КОМФОРТА  
FEATURES OF THE USE OF VENTILATED FACADES WITH DOUBLE  
CLADDING TO ENSURE THE BEST TEMPERATURE AND VISUAL  
COMFORT CONDITIONS**



**Харун Махмуд**, Российский университет дружбы народов, Московский государственный строительный университет, [miharun@yandex.ru](mailto:miharun@yandex.ru)

**Тунджай Чорлак**, Российский университет дружбы народов, [tcorlak@gmail.com](mailto:tcorlak@gmail.com)

**Kharun Makhmud**, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow State University of Civil Engineering, [miharun@yandex.ru](mailto:miharun@yandex.ru)

**Tunjay Chorlak**, Moscow State University of Civil Engineering, [miharun@yandex.ru](mailto:miharun@yandex.ru)

**Аннотация:** В статье рассмотрены особенности применения вентилируемых фасадов с двойной обшивкой для обеспечения лучших температурных и визуальных условий комфорта, которые были предложены в качестве гибких строительных систем для улучшения характеристик ограждающих

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" конструкций. Надежное моделирование производительности таких фасадных систем является необходимым условием для поддержки их проектирования и внедрения в реальных зданиях.

**Abstract:** The article discusses the features of the use of ventilated facades with double cladding to ensure the best temperature and visual comfort conditions, which were proposed as flexible building systems to improve the characteristics of enclosing structures. Reliable modeling of the performance of such facade systems is a prerequisite to support their design and implementation in real buildings.

**Ключевые слова:** вентилируемые фасады, температурные и визуальные условия комфорта, фасады с двойной обшивкой.

**Keywords:** ventilated facades, temperature and visual comfort conditions, facades with double cladding.

Фасады с двойной обшивкой (DSF) представляют собой типологию солнечных фасадов, которые часто применяются для снижения энергопотребления и обеспечения лучших температурных и визуальных условий комфорта по сравнению с традиционными фасадами с одной обшивкой. Из-за более сложного поведения, чем обычные решения ограждающих конструкций, проектирование и оптимизация DSF не могут основываться на эмпирических правилах или простых параметрах производительности [1]. Однако они должны основываться на результатах, полученных в результате моделирования динамических энергетических характеристик.

Детальное моделирование теплового, жидкостного и оптического поведения DSF может быть получено с использованием различных подходов, таких как специально построенные модели. Инструменты Building Energy Software (BES), с другой стороны, предназначены для моделирования всего здания и прогнозирования энергетических характеристик всего здания, и когда DSF моделируется в инструменте BES, можно связать производительность DSF с таковым всего здания.

## Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Совместное моделирование всего здания и его отдельных компонентов необходимо для правильной оценки общих показателей энергопотребления и комфорта. Это единственный способ воспроизвести сложное взаимодействие между воздушным потоком на фасаде, системой энергоменеджмента и конструктивными особенностями здания.

Существует ряд исследований, в которых использовались различные инструменты BES для оценки поведения DSF. Инструменты BES не разрабатывались с точным требованием моделирования усовершенствованной системы ограждающих конструкций, такой как DSF. Только несколько инструментов BES включают в себя специальные модули для моделирования DSF, в то время как более распространено, что моделирование этих систем может потребовать некоторых обходных путей или использования относительно продвинутых стратегий моделирования.

Надежное и всестороннее сравнение и экспериментальная проверка инструментов моделирования характеристик зданий осуществляются с применением инструментов BES. Часто проверка ведется достаточно детальная, она включает изучение особенностей строительных систем и стеновых сборок в частности и экологических систем, в которых функционируют здания, в целом. Целью этих процедур является повышение уверенности в использовании инструментов BES и улучшение механизмов моделирования текущего поколения [2].

Оценивая и сравнивая производительность различных подходов к моделированию, исследователи анализируют следующие инструменты: EnergyPlus, IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE), IES Virtual Environment (IES VE) и TRNSYS.

EnergyPlus – это программа моделирования энергопотребления всего здания, используемая для моделирования энергопотребления – отопления, охлаждения, вентиляции, освещения, розеток и технологических нагрузок – и использования воды в зданиях. Это бесплатный программный инструмент с общедоступным исходным кодом, который пользователь может изменить,

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" чтобы создать специальную версию для добавления функций моделирования, что является нетривиальной задачей.

Что касается возможностей моделирования систем DSF, Energy Plus имеет встроенную модель под названием «Окно воздушного потока», которая использовалась в нескольких исследованиях для моделирования DSF.

IDA ICE – это лицензированная программа построения многозонного моделирования на основе уравнений, библиотека которой написана в формате нейтральной модели (NMF), распространенном формате выражения модели, который позволяет пользователям соединять различные модули и разрабатывать подпрограммы непосредственно в интерфейс программирования. Структура IDA ICE позволяет легко модифицировать по требованию различные уже реализованные модели. IDA ICE, как EnergyPlus, включает в себя встроенный компонент, специально разработанный для моделирования DSF, который называется «Вентилируемое окно».

Принятие моделирования нескольких зон на основе типичного подхода с накоплением тепловых зон всегда возможно, данный процесс рекомендуется к применению в литературе, особенно при моделировании многоэтажных зданий.

IES VE Virtual Environment – это коммерческий программный инструмент, код которого недоступен, что ограничивает его применение моделями, уже включенными в распространяемую версию программного обеспечения. В литературе имеется несколько примеров DSF, смоделированных как наложенные друг на друга тепловые зоны.

TRNSYS – коммерческий код моделирования, первоначально разработанный для солнечных тепловых систем, который дает возможность моделировать здания с несколькими зонами с помощью комбинированной модели тепловой сети и сети воздушного потока. Использование этого инструмента среди исследователей хорошо зарекомендовало себя, поскольку

## Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

он также позволяет относительно легко разрабатывать специальные подпрограммы [3].

В литературе имеется множество исследований, большинство из которых касается фасадов с естественной вентиляцией. В недавней версии TRNSYS 18 стала доступна встроенная модель под названием «Комплексная система окон». Помимо реализации оптической модели, основанной на так называемой «Функции распределения двунаправленного рассеяния» (BSDF), для обеспечения высококачественного моделирования дневного освещения для окон, оборудованных решетчатыми системами или сотовыми конструкциями, этот компонент позволяет моделировать механически вентилируемые зазоры.

Необходимо также рассмотреть конструктивные особенности DSF. В таких фасадных системах воздух из помещения поступает в полость снизу, проходит через полость и удаляется вверху и направляется в приточно-вытяжную установку системы ОВК в составе вентиляционной сети здания. Таким образом, скорость потока обычно связана с потребностями в подаче свежего воздуха, а не оптимизируется для достижения конкретных характеристик, когда речь идет о фасаде.

DSF может гарантировать стабильную температуру поверхности стекла (таким образом снижая риск теплового дискомфорта), снять большую долю (потенциальной) охлаждающей нагрузки из-за проникновения солнечного света через вентиляционный воздух, особенно когда в помещении установлено затеняющее устройство, и значительно снизить потери тепла благодаря двойному остеклению. Воздушный поток поступает в вентилируемую полость через небольшие отверстия в раме в нижней части фасада, а вентилятор вытягивает воздух из верхней части полости через воздуховод.

Внешняя обшивка DSF выполняется из теплоизоляционного стеклопакета с двумя стеклами с селективным покрытием, а внутренняя обшивка – из одного прозрачного стекла. Глобальные солнечные оптические

## Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

и тепловые свойства остекления и затенения рассчитываются на основе доступной информации с использованием LBNL Window 7.7 и Optics 6 с использованием IGDB v29.

Геометрические, тепловые, оптические и эксплуатационные (скорость воздушного потока) характеристики DSF реализуются в различных инструментах BES в соответствии с возможностями, предоставляемыми каждой программной средой.

Применение указанных выше программных инструментов дало следующие результаты.

Зональный подход с использованием инструментов EnergyPlus приводит к сильной недооценке солнечной радиации, передаваемой в помещение за DSF. Алгоритм, реализованный для обработки диффузной освещенности через тепловые зоны в этом инструменте, распределяет диффузную входящую освещенность равномерно по всем поверхностям тепловой зоны. Когда роликовый экран развернут, поскольку EnergyPlus рассматривает штору как идеальный рассеиватель, проходящий через затенение (как прямой, так и рассеянный компонент) считается рассеянным и, таким образом, равномерно распределяется по каждой поверхности тепловой зоны. Эти процедуры приводят к тому, что солнечная радиация трактуется некорректно при таком подходе к моделированию, и выявляется существенная недооценка прямого солнечного усиления в помещении за DSF [4].

Поскольку модель «Вентилируемое окно» дает немного лучшие результаты, а использование такой встроенной модели в IDA ICE происходит быстрее, чем реализация модели, основанной на зональной стратегии, этот подход может быть применен в проектировании рассматриваемого типа фасадов.

IDA ICE является наиболее эффективным инструментом для прогнозирования температуры поверхности, количественно определяемой статистическими показателями и наблюдаемой на графиках рассеяния,

## Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

которые учитывают все четыре периода вместе. IDA ICE реализует емкостной узел в модели расчета стекла – это функция, отсутствующая в трех других инструментах BES.

Однако исследователи приходят к выводу, что нет ни одного инструмента, который превосходил бы другие во всех протестированных конфигурациях. В большинстве случаев программа, представляющая дневной пик конкретной физической величины зимой с затенением вниз, допускает существенную ошибку при прогнозировании другой физической величины в тот же период. Поэтому ранжировать инструменты абсолютным образом непросто. Более целесообразно определить среду моделирования, которая обеспечивает наилучший результат для каждой из анализируемых физических величин. Точно так же невозможно сказать, какую конфигурацию или период легче всего правильно предсказать всеми инструментами.

IDA ICE является лучшим инструментом с точки зрения пригодности прогноза при прогнозировании температуры воздушного зазора и температуры внутренней поверхности остекления.

EnergyPlus обеспечивает наилучшие результаты для прогнозирования теплового потока и солнечного излучения, проходящего через компонент. Однако эти изображения основаны на общей производительности инструментов, в то время как, если основное внимание уделяется конкретной конфигурации (затенение вверх или вниз) и конкретному сезону (холодному сезону или теплomu сезону), надежность различных инструментов варьируется в зависимости от времени года [5].

Таким образом, моделирование двухслойного фасада – нетривиальная задача, и надежность подходов к моделированию, принятых в инструментах моделирования энергопотребления зданий (BES), необходимо проверить и утвердить, чтобы завоевать доверие к использованию программ BES для моделирования DSF. Четыре различных инструмента моделирования энергопотребления зданий (BES) были протестированы на основе

## Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

экспериментальных данных. Оценивалась точность прогнозирования четырех физических величин, а именно температуры воздушного зазора, температуры внутренней поверхности остекления, теплового потока и прошедшего солнечного излучения.

Инструменты BES могут быть приемлемы для прогнозирования общей производительности фасада с точки зрения прироста и потери энергии за определенный, довольно длительный период (например, неделю), и ожидаемая точность прогноза соответствует общей точности для инструментов BES. Способность проанализированных инструментов точно прогнозировать краткосрочную динамику DSF вызывает сомнения из-за сложного поведения системы DSF и ограниченного представления этих систем в инструментах BES. Относительно большие погрешности наблюдаются по отдельным теплофизическим величинам, которые могут быть использованы для принятия важных решений в процессе проектирования. Использование инструментов BES для расчета систем на основе типовых или проектных особенностей также может привести к существенным неточностям и поэтому должно выполняться в сочетании с другими, более подробными подходами к моделированию. Поэтому такие прогнозы всегда должны быть либо проверены экспериментальными данными, либо выполнены с использованием более точных стратегий моделирования (например, могут применяться специальные коды, коды CFD).

### Список литературы

1. Жуков А.Д. Системы вентилируемых фасадов // Строительство: наука и образование. 2012. №1.
2. F. Pomponi, P.A.E. Piroozfar, R. Southall, P. Ashton, E.R.P. Farr Energy performance of Double-Skin Façades in temperate climates: a systematic review and meta-analysis *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 54 (2016), pp. 1525-1536



3. A. Dama, D. Angeli, O. Kalyanova Larsen Naturally ventilated double-skin façade in modeling and experiments Energy Build., 114 (2017), pp. 17-29
4. M. Haase, F. Marques da Silva, A. Amato Simulation of ventilated facades in hot and humid climates Energy Build., 41 (2009), pp. 361-373
5. A.S. Anđelković, I. Mujan, S. Dakić, A.S. Anđelković, I. Mujan, S. Dakić Experimental validation of a EnergyPlus model: application of a multi-storey naturally ventilated double skin façade Energy Build., 118 (2016), pp. 27-36

#### **List of literature**

1. Zhukov A.D. Systems of ventilated facades // Construction: science and education. 2012. No. 1.
2. F. Pom-poms, PAE. Piroozfar, R. Southall, P. Ashton, E.R.P. Farr Energy characteristics of double-skin facades in temperate climates: a systematic review and updating of meta-analysis. Support. Energy Rev., 54 (2016), pp. 1525-1536
3. A. Dama, D. Angeli, O. Kalyanova Larsen Naturally ventilated two-layer facade in modeling and experiments Energy Build., 114 (2017), pp. 17-29
4. M. Haase, F. Marques da Silva, A. Amato Simulation of ventilated facades in the hot and humid climate, Energy Build., 41 (2009), pp. 361-373
5. And.With. Andjelkovic, I. Mougins, S. Dakic, A. S. Andjelkovic, I. Mougins, S. Dacic Experimental verification of the model EnergyPlus: the use of high-rise buildings with natural ventilation with dual front., 118 (2016), pp. 27-36

© Харун М., Тунджай Ч., 2022 Международный журнал прикладных науки и технологий "Integral" №1/2022.

**Для цитирования:** Харун М., Тунджай Ч. Особенности применения вентилируемых фасадов с двойной обшивкой для обеспечения лучших температурных и визуальных условий комфорта // Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №1/2022